

ПОЛИТИКА ОБНОВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКТНОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Д. М. Ильясова, руководитель Е. Г. Филиппова

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
г. Екатеринбург, Россия.

ilyaosva@mail.ru , FilippovaE1980@mail.ru

Аннотация. Для описания и анализа сроков замены оборудования, имеющего наработку, применяется аппарат динамического программирования. В настоящей работе используется классический многошаговый принцип оптимальности Беллмана, который включает поиск условно-оптимального решения на каждом шаге и последующую безусловную оптимизацию.

На основе предложенного подхода в работе получена стратегия замены оборудования на примере комплектной трансформаторной подстанции, имеющей наработку на начало работы 2 года. Кроме того, была составлена программа на языке программирования Python, реализующая вычислительный процесс.

Ключевые слова: динамическое программирование, принцип оптимальности Беллмана, условно оптимальное решение, безусловная оптимизация.

POLICY UPDATING TECHNICAL SUPPLY ON THE EXAMPLE OF A COMPLETE TRANSFORMER SUBSTATION

Ilyasova D. M., Filippova E.G.

Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, Russia.

Abstract. A dynamic programming apparatus is used to describe and analyze the timing of replacement of equipment with operating time. In this paper, we use Bellman's classical multistep optimality principle, which includes the search for a conditionally optimal solution at each step and subsequent unconditional optimization.

Based on the proposed approach, a strategy for replacing equipment was obtained in the work on the example of a complete transformer substation, which has an operating time of 2 years at the beginning of operation. In addition, a program was compiled in the Python programming language that implements the computational process.

Key word: dynamic programming, Bellman's principle of optimality, conditionally optimal solution, unconditional optimization.

Одной из первостепенных экономических проблем предприятий и заводов является своевременный ремонт используемого оборудования или полная замена его на новое. Старение технического обеспечения включает физический износ деталей механизмов, в результате чего возрастают расходы на ремонт и обслуживание, снижается производительность труда и остаточная стоимость [1].

Следовательно, задача о замене может быть сформулирована следующим образом: в процессе работы некоторое техническое устройство (новое, или бывшее в эксплуатации) даёт ежегодную прибыль, требует эксплуатационных затрат и имеет некоторую остаточную стоимость. В начале любого года устройство можно или *сохранить*, или *заменить*, продав по остаточной стоимости, и приобрести новое. Задача состоит в определении оптимальных сроков замен в плановом периоде так, чтобы суммарная прибыль за этот период была максимальной. Критерием оптимальности в этом случае являются прибыль от эксплуатации технического устройства (задача максимизации).

Постановка задачи.

Пусть в некотором микрорайоне установлена комплектная трансформаторная подстанция (КТП), с наработкой $t_0 = 2$ года, мощностью до 2500 кВА, которая передает электрический ток потребителям – жителям 4 частных домов и двум предприятиям, которые в среднем, в год потребляют 24000 кВт. В таблице 1 содержатся исходные данные. Под техническим обслуживанием КТП подразумеваются мероприятия, направленные на предохранение трансформаторных подстанций, их элементов и частей от преждевременного износа [2]. При обслуживании трансформаторной подстанции проводятся следующие виды работ: очередные осмотры, измерения токовой нагрузки на вводах 0,4 кВ силового трансформатора и отходящих линий, измерение напряжения на шинах 0,4 кВ, очистка изоляции оборудования ТП, аппаратов, баков и арматуры от пыли и грязи и т.д [3]. Стоимость новой подстанции составляет $P = 250$ тыс. руб., для работы выбрана КТП-250/6(10)/0,4-94-У1. Компания планирует определить оптимальную политику замены трансформаторной подстанции на протяжении следующих $N = 5$ лет, т.е. вплоть до начала шестого года, с целью достижения максимального суммарного эффекта.

Таблица 1 – Исходные данные

Время t , в течение которого используется подстанция	0	1	2	3	4	5	6	7
Ежегодная прибыль $r(t)$, тыс. рублей, от использования подстанции возраста t , лет	120	120	120	115	107	107	100	100
Ежегодная стоимость обслуживания $u(t)$, тыс. рублей подстанции возраста t , лет	20	20	25	29	32	80	29	32
Остаточная стоимость $s(t)$ тыс. рублей, подстанции возраста t , лет	250	219,6	205	190	175	160	150	145

Решение задачи методом динамического программирования

Чтобы решить задачу, применим принцип оптимальности Беллмана. Рассмотрим интервалы (годы) планового периода в последовательности от конца к началу. Введём функцию условно-оптимальных значений функции цели $F_i(t)$. Эта функция показывает максимальную прибыль, получаемую от работы подстанции возраста t лет за последние i лет планового периода. Необходимо отметить, что возраст КТП рассматривается в направлении естественного хода времени. Например, $t = 0$ соответствует использованию совершенно новой подстанции. Временные шаги процесса нумеруются в обратном порядке. Например, при $i = 1$ рассматривается последний год планового периода, при $i = 2$ – последние два года и т.д., при $i = N$ – последние N лет, т.е. весь плановый период.

На рисунке 1 представлена рассматриваемая задача замены КТП в виде сети с указанием возможного возраста в начале каждого года работы.

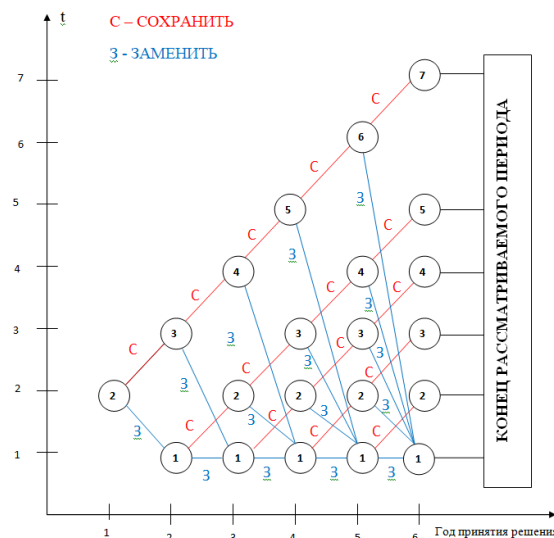


Рисунок 1 – Схема определения возраста КТП на начало года

5 этап. К началу пятого года возраст КТП, согласно рис.1, может составлять 1, 2, 3, 4 или 6 лет, т.е. допустимые состояния системы $t = 1, 2, 3, 4, 6$. Для каждого состояния определим условно оптимальное решение и вычислим максимальный доход $F_1(t)$ за последний год. Рекуррентные соотношения с учётом продажи бывшей в эксплуатации подстанции имеют вид:

$$F_1(t) = \max \begin{cases} r(t) - u(t) + s(t+1), \text{если сохранить (C)} \\ r(0) - u(0) - P + s(t) + s(1), \text{если заменить (3)} \end{cases}, \text{результаты в табл.2.}$$

Таблица 2 – Условно оптимальные решения 5 этапа

возраст КТП t (лет)	максимальный доход за последний год $F_1(t)$ (тыс. рублей)	условно оптимальное решение
1	305	C
2	285	C
3	261	C
4	244,6	3
6	236	C

4 этап. К началу четвертого года, согласно схеме, возраст КТП может составлять 1, 2, 3 или 5 лет. Рекуррентные соотношения имеют вид:

$$F_2(t) = \max \begin{cases} r(t) - u(t) + F_1(t+1), \text{если сохранить (C)} \\ r(0) - u(0) - P + s(t) + F_1(1), \text{если заменить (3)} \end{cases}, \text{результаты в табл.3.}$$

Таблица 3 – Условно оптимальные решения 4 этапа

возраст КТП t (лет)	максимальный доход за последние 2 года, $F_2(t)$ (тыс. рублей)	условно оптимальное решение
1	385	C
2	360	3
3	345	3
5	315	3

Продолжаем аналогичный процесс.

Таблица 4 – Условно-оптимальные решения 3 этапа

возраст КТП, t (лет)	максимальный доход за последние 3 года, $F_3(t)$ (тыс. рублей)	условно-оптимальное решение
1	460	C
2	440	C\3
4	410	3

Таблица 5 – Условно-оптимальные решения 2 этапа

возраст КТП t (лет)	максимальный доход за последние 4 года $F_4(t)$ (тыс. рублей)	условно-оптимальное решение
1	540	С
3	500	З

Таблица 6 – Условно-оптимальное решение 1 этапа

возраст КТП t (лет)	максимальный доход за последние 5 лет $F_5(t)$ (тыс. рублей)	условно-оптимальное решение
2	595	С\З

Таким образом, максимальная прибыль от установленной КТП за 5 лет работы может составить 595 тыс. рублей. Определим политику замены подстанции данного типа.

Безусловная оптимизация:

Поднимаемся снизу вверх. Для первого года работы (табл. 6) решение – сохранить, тогда к началу второго года возраст оборудования составит 3 года, следовательно, по таблице 5 находим условно-оптимальное решение для $t = 3$ – заменить. Продолжая аналогичный процесс с таблицами 4,3 и 2, получим вектор управления: $U^* = (С, З, С, З, С)$. *Замечание.* Если прибыль не зависит от выбора решения о сохранении или замене подстанции, например, $F_3(2) = 440$ (С\З), $F_5(2) = 595$ (С\З), то, как правило, принимают решение – сохранить. Но, для полноты изложения материала, безусловная оптимизация была проведена и для случаев выбора решения заменить: $U^1 = (З, С, С, З, С)$ и $U^2 = (З, С, З, С, С)$.

Итак, *оптимальной стратегией управления*, при которой компания получит максимальную прибыль $F = 595$ тыс. рублей, являются следующие варианты политики замены подстанции типа КТП-250/6(10)/0,4-94-У1: $U^* = (С, З, С, З, С)$, $U^1 = (З, С, С, З, С)$ и $U^2 = (З, С, З, С, С)$.

Решение задачи с помощью программирования на языке Python.

Для решения многошаговых задач удобно применять вычислительные технологии. Поставленная задача была решена с помощью написания программы на языке программирования Python.

На рис.3. представлен фрагмент программы, описывающий 2 этап – поиск условно-оптимального решения за последние 4 года работы подстанции.

```

77  ###PART 4
78  print('PART 4')
79  year = [1,3]
80  for i in year:
81      time = i
82      time_plus_one = time + 1
83      F_four_1 = t_dict[time][0] - t_dict[time][1] + F_three_dict[time_plus_one]
84      F_four_2 = t_dict[0][0] - t_dict[0][1] - P + t_dict[time][2] + F_three_dict[1]
85      print('F_four_1 = {}'.format(F_four_1))
86      print('F_four_2 = {}'.format(F_four_2))
87      if F_four_2 > F_four_1:
88          to_do = 'change'
89          F_four_dict[time] = F_four_2
90      else:
91          to_do = 'no change'
92          F_four_dict[time] = F_four_1
93      result = 'Year {}, to do: {}'.format(time, to_do)
94      print(result)
95      print(F_four_dict)

```

Рисунок 4 – Условно-оптимальное решение за последние 4 года работы

Выводы

1. Для получения максимальной прибыли в размере 595 тыс. рублей подстанцию необходимо заменить либо в начале второго и четвертого года работы, либо в начале первого и четвертого, либо в начале первого и третьего.
2. Решение задачи с помощью программирования позволяет быстро найти оптимальное решение на каждом этапе, кроме того, на написание программы ушло в 3 раза меньше времени, чем на вычисления «вручную».

Библиографический список

1. Т. В. Завьялова, И. Н. Пирогова, Е. Г. Филиппова. Методы принятия управленческих решений. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2014. 89 с.
2. Ю. Д. Сибикин. Электрические подстанции. Москва: Изд-во «РадиоСофт», 2016. 416 с.
3. Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. Электроснабжение. Москва: Изд-во «РадиоСофт», 2009. 328 с.
4. ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ ТИПА КТП-25...250/6(10)/0,4-94-У1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://electrograd.com/product_41.html, свободный – (25.9.20)
5. Техническое обслуживание трансформаторных подстанций. Периодичность и нормы испытаний оборудования в соответствии с ПТЭЭП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kesch.ru/info/articles/tekhnicheskoe-obsluzhivanie-transformatornykh-podstantsiy/>, свободный – (7.10.20)
6. Комплектные трансформаторные подстанции серии КТП мощностью от 25 кВА до 250 кВА [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mpk26.ru/uploads/14.pdf>, свободный – (25.9.20)